

**MORFOLOGÍA DINÁMICA DE SISTEMAS DELTAICOS MENORES EN
SUDAMÉRICA- APROXIMACIÓN A LA ESTIMACIÓN DE LA INFLUENCIA
ANTRÓPICA.**

NELLYS PATRICIA PADILLA PÉREZ

**BARRANQUILLA
UNIVERSIDAD DEL NORTE
DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS
PROGRAMA DE GEOLOGÍA**

2020

**MORFOLOGÍA DINÁMICA DE SISTEMAS DELTAICOS MENORES EN
SUDAMÉRICA- APROXIMACIÓN A LA ESTIMACIÓN DE LA INFLUENCIA
ANTRÓPICA.**

NELLYS PATRICIA PADILLA PEREZ

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
Geólogo

DIRECTOR

Ph. D JUAN CAMILO RESTREPO LÓPEZ

BARRANQUILLA

UNIVERSIDAD DEL NORTE

DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS

DEPARTAMENTO DE FÍSICA Y GEOCIENCIAS

PROGRAMA DE GEOLOGÍA

2020

Agradecimientos

A Dios, por su gran amor. A mi profesor Juan Camilo Restrepo por ser mi tutor y enseñarme tanto como le fue posible, por sus críticas constructivas, y por la confianza que depositó en mí.

A mi familia, en especial a mis padres por su incalculable esfuerzo, por ser mis guías y nunca dejarme desfallecer. A mi abuela Esther Jiménez y a mi segundo padre Luis Perez Jiménez por su amor incondicional. A mis padrinos Luz María Perez y Carlos Julio Robles, por su apoyo incondicional. A mi hermana por estar a mi lado en todo momento. A mi mejor amiga, por ser mi apoyo y acompañarme en el camino.

Dedicatoria

Dedicado a mi familia.

Dedicado a la memoria de aquellos que perdí en el camino, Luis Perez Lobo, Nubia Pérez

Jiménez y Anaida Pérez Jiménez.

TABLA DE CONTENIDO

1.	Introducción.....	1
2.	Planteamiento del problema.	4
3.	Objetivos.....	6
3.1.	Objetivo general.....	6
3.2.	Objetivos específicos.	6
4.	Metodología.....	6
4.1.	Selección y caracterización de los sistemas deltaicos menores	6
4.2	Área de estudio	8
5.	Resultados y análisis de resultados	10
5.1.	Caracterización hidrológica de los sistemas deltaicos.....	10
5.2.	Caracterización morfológica de los sistemas deltaicos.....	12
5.2.1	Chira (Perú).....	12
5.2.2.	Guayas (Ecuador).....	13
5.2.3	Bio-bio (Chile).....	13
5.2.4.	Lingue o Mehuín (Chile)	15
5.2.5.	Bahía de Babitonga (Brasil).....	17
5.2.6.	Do Ribeira do Iguape (Brasil)	18
5.2.7.	Santa María (Brasil).....	20
5.2.8.	Jequitinhonha (Brasil)	21
5.2.9.	Santana (Brasil)	22
5.2.10.	Choro (Brasil).....	24
5.2.11.	Demerara (Guyana)	24
5.2.12.	Ceara (Brasil)	26
5.2.13.	Ciénaga Honda (Colombia)	27
5.3.	Calificación cualitativa del grado de intervención en los sistemas deltaicos	28
6.	Discusiones	32
7.	Conclusiones	35
8.	Referencias.....	37

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Clasificación morfodinámica de los diversos deltas de la tierra (según Galloway, 1975).	3
FIGURA 2. Ubicación de las desembocaduras de estudio.	7
FIGURA 3. Evolución morfológica de la desembocadura del río Chira de 1969 a 2016.	12
FIGURA 4. Evolución morfológica de la desembocadura del río Guayas de 1985 a 2019.	14
FIGURA 5. Evolución morfológica de la desembocadura del río Bio-bio de 1979 a 2019.	15
FIGURA 6. Evolución morfológica de la desembocadura del río Lingue de 1998 a 2019.	16
FIGURA 7. Evolución morfológica de la Bahía de Babitonga de 1973 a 2020.	17
FIGURA 8. Evolución de la desembocadura la Bahía de Babitonga.	18
FIGURA 9. Evolución morfológica del sistema Do Ribeira do Iguape de 1988 a 2019.	19
FIGURA 10. Evolución morfológica del sistema Santa María de 1976 a 2020.	20
FIGURA 11. Bahía de Vitória en el 2020.	21
FIGURA 12. Evolución morfológica del sistema Jequitinhonha de 1987 a 2019.	22
FIGURA 13. Evolución morfológica del sistema Santana de 1987 a 2020.	23
FIGURA 14. Evolución morfológica de la desembocadura del sistema Choro de 2004 a 2016.	24
FIGURA 15. Evolución morfológica del sistema Demerara del 2001 al 2015.	25
FIGURA 16. Espolones en la costa de la desembocadura del río Demerara.	26
FIGURA 17. . Evolución de la desembocadura del río Ceará.	27
FIGURA 18. Evolución morfológica del sistema Bahía Honda de 1973 a 2019.	27
FIGURA 19. Diagrama de dispersión de los datos de caudal, amplitud de marea y número de canales distributarios.	33
FIGURA 20. Diagrama de dispersión de los valores de área, longitud del canal y altura de la significante.	33
FIGURA 21. Diagrama de dispersión de los valores de flujo de sedimentos aportados por el río (Qriver p) vs el flujo de sedimentos aportados por el oleaje (QWave)	34

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Caracterización hidrológica de los sistemas deltaicos.	11
Tabla 2. Sistema de calificación de sistemas deltaicos.	30
Tabla 3. Calificación cuantitativa de los sistemas deltaicos.	32

Resumen

Los deltas son probablemente uno de los sistemas de acumulación más complejos debido a la variabilidad de geoformas y agentes reguladores. El objetivo general de este estudio fue analizar patrones de evolución morfológica reciente (década de los años 60 al presente) en 13 sistemas deltaicos menores de Suramérica teniendo en cuenta el grado de intervención antrópica que presenten. En la selección de los sistemas se tuvo en cuenta que evidenciaran algún tipo de intervención, cambio morfológico y área de la cuenca menor a 100.000 km². Para esto se analizó la morfología de los sistemas deltaicos por medio de imágenes satelitales y Landsat. Se caracterizaron las propiedades hidrológicas de los deltas a través de la base de datos del Center for Open Science (SOF). La caracterización morfológica de estos sistemas permitió establecer una escala de valoración para clasificar los sistemas deltaicos en función del nivel de intervención antrópica que experimentan. La proyección de las propiedades hidrológicas en diagramas de dispersión permitió identificar las variables que han sido afectadas por la intervención antrópica. Los 13 sistemas deltaicos menores estudiados en Suramérica están controlados principalmente por el oleaje y el 50% de estos no están intervenidos. Los sistemas no intervenidos y poco intervenidos presentan una evolución morfológica evidenciado en la formación natural de geoformas, además del amplio rango de las propiedades hidrológicas de los sistemas. Esto no ocurre en los sistemas altamente intervenidos. Por lo tanto, el sistema de clasificación establecido por Galloway (Fig. 1) no es acorde para clasificación de sistemas menores intervenidos. La respuesta de las intervenciones en los deltas menores de Suramérica, estudiados en este trabajo, se relacionan con el desequilibrio del sistema en cambios del suministro y dispersión de sedimentos. Las intervenciones antrópicas no afectan el número de canales distributarios y la reducción del área de la desembocadura.

Palabras claves: Sistema deltaico, morfología, hidrología, propiedades, intervenciones antrópicas.

Abstract

Deltas are probably one of the most complex accumulation systems due to the variability of geoforms and regulatory agents. The general objective of this study was to analyze patterns of recent morphological evolution (from the 1960s to the present) in 13 minor deltaic systems in South America, taking into account the degree of anthropic intervention that they present. In the selection of the systems, it was taken into account that they evidenced some type of intervention, morphological change and the area of the basin of less than 100,000 km². For this, the morphology of the deltaic systems was analyzed using satellite images and Landsat. The hydrological properties of the deltas were characterized through the Center for Open Science (SOF) database. The morphological characterization of these systems allowed establishing an evaluation scale to classify deltaic systems according to the level of anthropic intervention that they undergo. The projection of the hydrological properties in dispersion diagrams allowed to identify the variables that have been affected by the anthropic intervention. The 13 minor delta systems studied in South America are mainly controlled by waves and 50% of these are not operated. The not intervened and little intervened systems show a morphological evolution evidenced in the natural formation of geoforms, in addition to the wide range of the hydrological properties of the systems. This does not happen in highly intervened systems. Therefore, the classification system established by Galloway (Fig. 1) is not consistent with the classification of minor intervened systems. The response of the interventions in the minor deltas of South America, studied in this work, are related to the imbalance of the system in changes in the supply and dispersion of sediments. Anthropogenic interventions do not affect the number of distribution channels and the reduction of the mouth area.

Key Words: Delta system, morphology, hydrology, properties, anthropic interventions.

1. Introducción.

Delta es un término geomorfológico utilizado para referirse a los terrenos sedimentarios formados en los cursos bajos y desembocaduras de los ríos, incluso si no sobresalen del contorno general de la costa. El término delta fue introducido por Heródoto en el siglo V a. C. para describir los extensos terrenos bajos aluviales del curso inferior del río Nilo cuyos bordes geográficos externos se asemeja a la letra griega (Bird, 2011).

Son muchos los factores que inciden en la evolución y morfología de los sistemas deltaicos. Galloway (1975) plantea en su estudio sobre la evolución morfológica y estratigráfica de los deltas que entre los controles naturales de la dinámica de los deltas se encuentran la influencia fluvial a través del caudal y la carga de sedimentos; y los agentes marinos como las corrientes oceánicas, corrientes meteorológicas, las corrientes de marea, y las corrientes de densidad, estableciendo así una clasificación de sistemas deltaicos (Figura 1). La importancia de la influencia de la energía marina (oleaje y marea) en el transporte y la re-depositación de los sedimentos introducidos por vía fluvial es variable (Galloway, 1975). Por consiguiente, la morfología y evolución de los sistemas deltaicos está relacionada con los efectos del aporte fluvial de sedimentos, y la acción de las olas y las corrientes que disipan los sedimentos.

Los deltas se encuentran en una amplia variedad de zonas climáticas. Por lo tanto, el clima en la cuenca hidrográfica representa una gran influencia en los factores como la esorrentía y los regímenes fluviales, que en conjunto con la geología y la topografía controlan la naturaleza y la tasa de aporte de aporte de sedimentos hacia la costa. Es así como este tipo de esquemas permiten clasificar los deltas en términos de las tasas de suministro de sedimento fluvial, la energía de las mareas y la energía de las olas incidentes.

El esquema de Galloway (1975) ha sido ampliamente utilizado para caracterizar la morfología de los sistemas deltaicos e identificar los agentes morfodinámicos dominantes. Por ejemplo, el río Eel

(Canadá) representa los sistemas deltaicos dominados por el oleaje, mostrando una menor concentración de canales distributarios y la ausencia de canales subacuáticos en el pro-delta por el retrabajamiento producto de la acción del oleaje en sistemas costeros con pendientes poco pronunciadas. En estos sistemas se presenta un único cauce o unos pocos distributarios. Así mismo como resultado de un menor aporte sedimentario se presenta una morfología simétrica. En este tipo de deltas la dirección principal del oleaje controla la presencia o ausencia de corrientes de deriva (Huggett, 2017).

Los sistemas deltaicos dominados por mareas son representados por el río Elbe (Alemania). En este tipo de ríos el oleaje es de poca energía junto con bajos aportes de sedimentos fluviales en un sector controlado por la marea, evidenciado en la formación de barras longitudinales y pequeñas islas barreras. La descarga de agua dulce es represada por las corrientes de marea que ensanchan los canales distributarios en dirección al mar dando la forma de embudo en la llanura deltaica concentrando los sedimentos en los extremos de la desembocadura (Figura 1) (Huggett, 2017). En este contexto, este tipo de deltas es donde mejor se desarrollan los estuarios que generan zonas pantanosas y acumulaciones de arenas y lodos en la zona intermareal, marismas en las latitudes extratropicales y manglares en las costas del trópico (Bird, 2011).

El delta del río Mississippi (Estados Unidos) es un ejemplo de los sistemas dominio fluvial, desarrollando una planicie deltaica con varios brazos distributarios que se proyectan hacia el mar sobre la desembocadura. Este proceso es el resultado de la incidencia despreciable de las olas y las mareas. Este tipo de distribución se conoce como delta pata de pájaro, en donde los canales de distribución de la llanura delta forman los "dedos" de la "pata". Los sedimentos que transporta el cauce del río se depositan de tal manera que se observa una gradación de las partículas a través del

delta (Huggett, 2017). El cauce continúa por debajo del nivel del mar formando canales subacuáticos en la zona sumergida del delta, pro-delta (Bird, 2011).

No obstante, la gran mayoría de los deltas, reflejan en mayor o menor grado, la influencia sincrónica de los de los sistemas marinos (oleaje y mareas) y fluviales. Por lo tanto, no se clasifican en las esquinas del diagrama sino en puntos intermedios entre estos. La variabilidad de los sistemas deltaicos se debe a la diversidad y la variación de agentes que controlan la morfología y las proporciones en que estos actúan. El río Níger, es un claro ejemplo al presentar un alto régimen de oleaje y mareas además de una gran variedad de distributarios sobre una zona estuarina (Huggett, 2017).

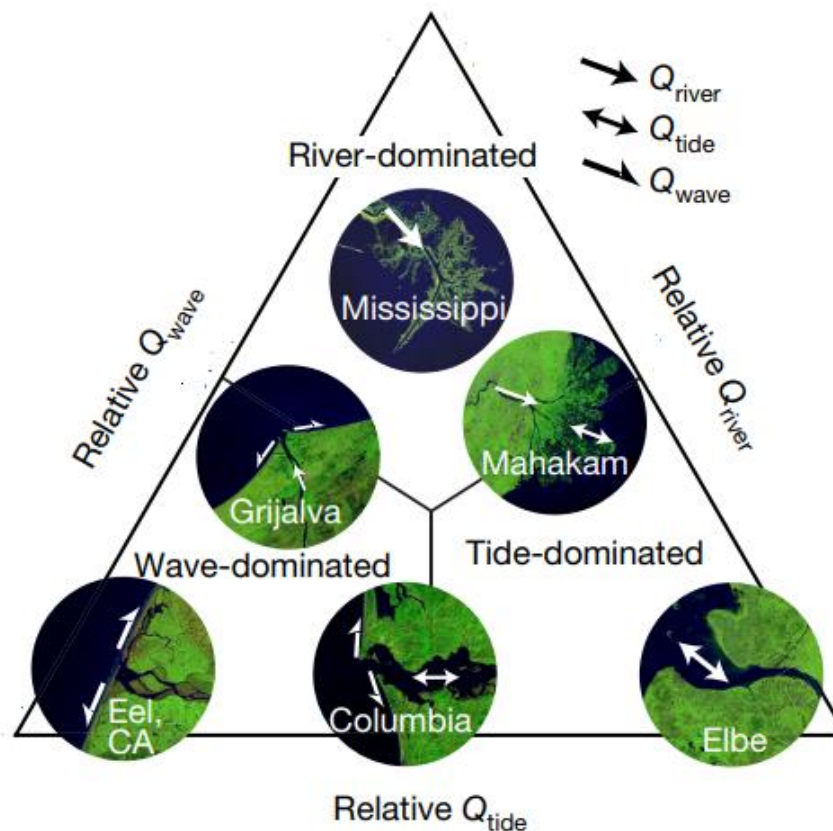


FIGURA 1. Clasificación morfodinámica de los diversos deltas de la tierra (según Galloway, 1975).

Tomado de Nienhuis, J. H, et al, (2020).

Los deltas son probablemente uno de los sistemas de acumulación más complejos debido a la variabilidad de geoformas y agentes reguladores. Presentan una gran importancia en el plano económico debido a que antiguos depósitos deltaicos actualmente representan una de las principales fuentes de hidrocarburos (combustibles fósiles, carbón, gas, y aceite). No obstante, actualmente en las zonas deltaicas se han generado procesos de intervención y transformación de geoformas costeras como resultado de la acción antrópica. En el caso de los sistemas deltaicos la intervención en la desembocadura a partir de estructuras duras generalmente interrumpe la evolución natural del sistema, y genera erosión y la desviación de la cuenca. Es así como reconocer el comportamiento y la incidencia de los factores ambientales resulta de gran importancia al momento de producir intervenciones en el sistema natural.

2. Planteamiento del problema.

Las clasificaciones más recientes de los sistemas deltaicos han agregado una mayor complejidad en el estudio de los sistemas deltaicos al incluir variables como la influencia del tamaño de grano, datos cuantitativos de olas y mareas (Orton y Reading, 1993), el impacto de la variación del nivel del mar (Dalrymple et al., 1992; Postma, 1995), o la profundidad del espacio de alojamiento en alta mar (Postma, 1990). Así mismo se ha reconocido la variación en tiempo y espacio de los factores que afectan la morfodinámica (Correggiari et al., 2005). Por ejemplo, un delta puede estar dominado por un sistema de mareas, pero por la evolución de la plataforma continental abierta cambiar a un sistema dominado por el oleaje.

Recientemente, Syvitski y Saito (2007) han planteado que la intervención humana “controla de manera creciente la evolución y dinámica de los deltas”. Señalan que dentro de las intervenciones más comunes se encuentran las que controlan la ruta de los canales distributarios, ya sea para redirigirlos o estabilizarlos; con el fin de mitigar las inundaciones estacionales o disminuir el riesgo de cultivos cada vez más diversos, entre otros. En consecuencia, la clasificación planteada por

Galloway (1975) resultaría inadecuada para caracterizar la evolución morfológica de los sistemas deltaicos que experimentan una intervención antrópica significativa.

Es importante destacar la variabilidad de procesos que controlan la morfológica de los sistemas deltaicos, así como la ausencia o presencia de los mismos dependiendo del ámbito geográfico y las condiciones socioeconómicas. El trabajo de Syvitski y Saito (2007) se concentró mayormente en el hemisferio Norte, y en países con importantes condiciones de desarrollo económico. China, India, Canadá, Rusia, Francia, Vietnam, Turquía, entre otros. El ámbito geográfico y los patrones de desarrollo socio-económico y cultural hacen suponer que los patrones, magnitud y escala de los procesos de intervención antrópica son diferentes en los países en vía de desarrollo, especialmente en Sur América por sus particulares características fisiográficas y socio-culturales. En primer lugar, las condiciones climáticas relacionadas a los dos hemisferios se encuentran relacionadas principalmente con la cantidad de masa continental y el volumen de agua. Así mismo, el desarrollo económico limita el estudio y entendimiento de los sistemas deltaicos, relacionado con el monitoreo de los sistemas costeros. Por lo tanto, ¿Podríamos esperar que las respuestas de los sistemas deltaicos en países en vía de desarrollo se encuentran relacionadas o difieren de manera significativas de aquellas que se han documentado en el hemisferio norte? ¿Qué ocurre específicamente en Suramérica en relación a los procesos de evolución morfológica de los sistemas deltaicos? ¿cuáles son los patrones generales de intervención que experimentan estos deltas? En este contexto, se esperaría que la respuesta morfológica de los sistemas deltaicos intervenidos en Suramérica sea diferente a la encontrada por Syvitski y Saito (2007) en el hemisferio Norte. Sin embargo, para sistemas poco intervenido o con una intervención casi nula se esperaría una evolución morfológica acorde con lo planteado por el esquema de Galloway (1975).

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

El objetivo general de este estudio fue analizar patrones de evolución morfológica reciente (década de los años 60 al presente) en algunos sistemas deltaicos menores de Suramérica teniendo en cuenta factores los naturales y antrópicos asociados al grado de intervención antrópica que se encuentran sometidos.

3.2. Objetivos específicos.

Para el cumplimiento del objetivo general se definieron los siguientes objetivos específicos

3.2.1. Analizar la morfología dinámica de los sistemas deltaicos con el fin de identificar el nivel de intervención humana que experimentan (eg. sin intervención, poco intervenidos, altamente intervenidos) y los impactos de estas intervenciones en su evolución morfológica reciente.

3.2.2. Establecer una escala de valoración que permita clasificar los sistemas deltaicos en función del nivel de intervención antrópica que experimentan.

3.2.3. Identificar las propiedades hidrológicas de los ríos que han sido afectadas por la intervención antrópica, estableciendo vínculos con los cambios en los patrones de evolución deltaica.

4. Metodología.

4.1. Selección y caracterización de los sistemas deltaicos menores

Para distinguir patrones de evolución morfológica en sistemas deltaicos menores de Suramérica se seleccionaron 13 sistemas deltaicos con tamaño de cuenca menor a 100.000 km² y que evidenciaran algún tipo de intervención antrópica desde asentamientos humanos hasta la implementación de estructuras rígidas como espolones, tajamares, y canales artificiales con el

objetivo de observar los cambios asociados a este tipo de intervenciones. Los 13 deltas investigados se localizan en Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, Guyana, Perú (Figura 2).

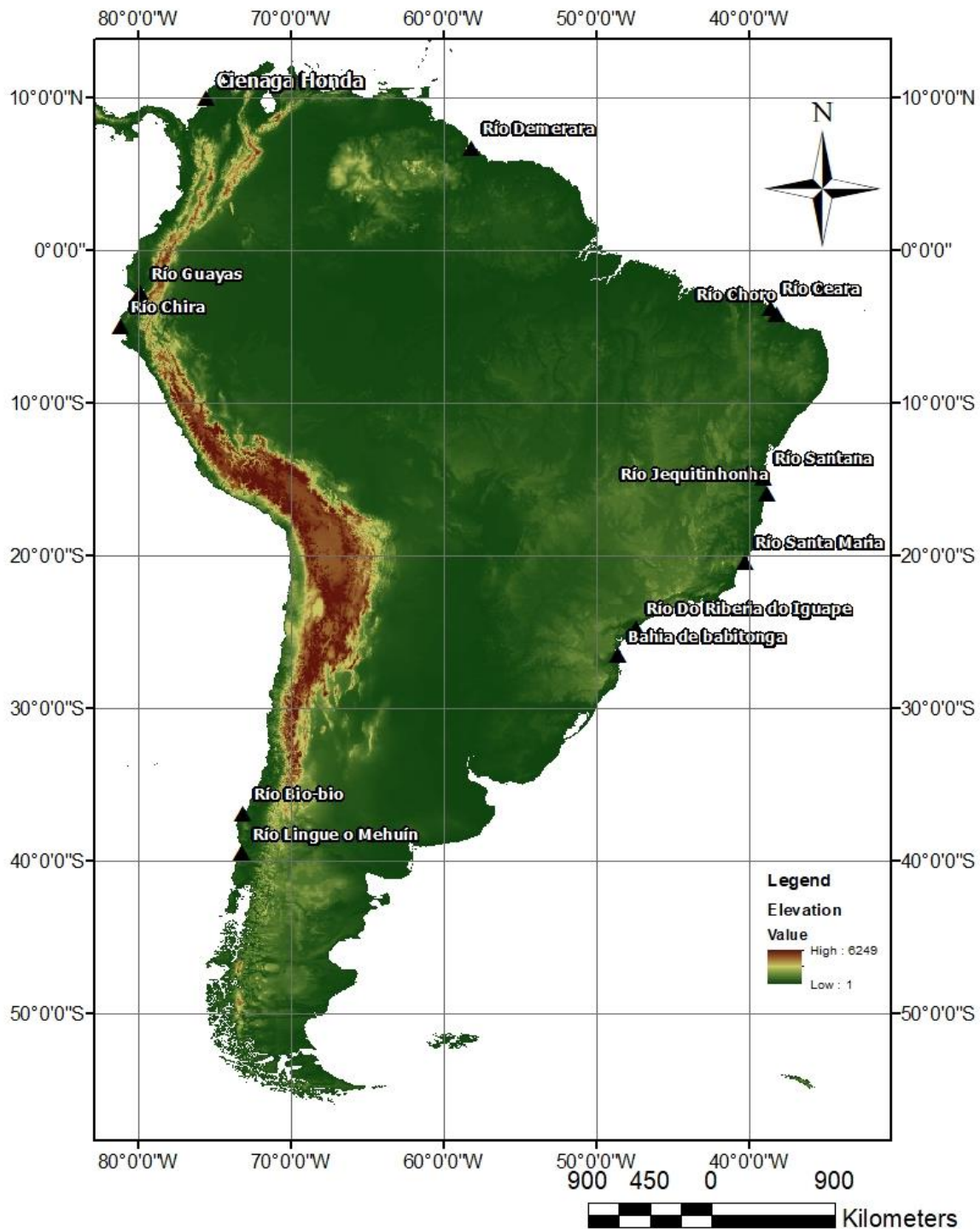


FIGURA 2. Ubicación de las desembocaduras de estudio.

La caracterización hidrológica de los ríos se realizó a partir de la base de datos publicada por la OSF en <https://osf.io/s28qb/>, y la literatura, con parámetros de agente dominante (A.D), área (A), caudal (Q), longitud del canal (L), número de canales distributarios (CN), amplitud de marea (Ti), altura significativa de ola (Hs), flujo de sedimentos aportados por el río (Q_{River^p}), flujo de sedimentos aportados por el río sin modificaciones antropogénicas (Q_{River^d}), flujo de sedimentos aportados por la marea (Q_{Tide}), y el flujo de sedimentos aportados por el oleaje (Q_{Wave}).

La caracterización y evolución geomorfológica de los sistemas deltaicos se realizó a través de imágenes satelitales de USGS y Earth Explorer desde 1969 hasta 2020, con resolución de 15 a 30 m. Se examinaron más de diez imágenes temporales de cada sistema deltaico para identificar ciclos de evolución, las geoformas dominantes y su variabilidad.

Así mismo, se evaluará su estado de intervención: sin intervención, poco intervenidos y altamente intervenidos dependiendo de la respuesta del sistema deltaico a intervenciones como canales artificiales en el cauce natural del río, y la implementación de estructura en la desembocadura o la zona costera.

A partir de la caracterización hidrológica de los sistemas se establecerán relaciones entre las características de los ríos para establecer las propiedades influenciadas de acuerdo con los niveles de intervención antrópica que experimentan estos sistemas.

4.2 Área de estudio

América del Sur (Figura 2) es el subcontinente austral de América ubicado en el hemisferio sur o meridional. En el contexto tectónico Suramérica se encuentra situado sobre la placa Sudamericana, delimitado al occidente por la subducción de las placas de Nazca y Caribe, y al oriente por el rift del Atlántico de margen pasivo. Geológicamente se caracteriza por contener la cordillera de los Andes que atraviesa desde Chile hasta Colombia y Venezuela con una longitud de ~8000 km y

elevaciones de hasta 7000 m.s.n.m.(GeoRed). La cordillera es producto de eventos orogénicos relacionados con la interacción de la placa nazca y suramericana en un margen activo que generaron procesos de magmatismo y deformación. Sin embargo, en el sector noroccidental de Suramérica la interacción de placas tiene una configuración diferente. En este caso la interacción ocurre entre la placa Caribe y suramericana y conforman un margen pasivo debido a la ausencia de eventos importantes de divergencia o transpresión. Estas placas al tener un boyanza parecida generan procesos de subducción plano paralelas.

El resultado de los procesos geológicos y la configuración tectónica mencionados anteriormente se ve reflejado en el relieve de los márgenes occidentales y orientales de Sudamérica. En el extremo Occidental predominan los relieves montañosos debido a la cercanía de la cordillera de los Andes. Esta configuración produce características distintivas de los sistemas fluviales como una menor longitud del cauce y un alta pendiente, asociado a una mayor energía en el transporte. Por el contrario, el borde Oriental está influenciado por sistemas de planicies relacionado a sistemas de extensas llanuras como la amazónica y la pampa argentina, y con grandes mesetas, como la brasileña. Por consiguiente, los ríos que desembocan en el Atlántico son largos, con cuencas de drenaje extensas y caudalosos.

Uno de los factores más importantes que diferencia a el hemisferio Sur del Norte es el clima, principalmente en lo relacionado a la proporción y distribución de masas continentales y el volumen masas de agua. El hemisferio Norte tiene una mayor proporción de masa continental la cual posee un poder calorífico menor en comparación con las masas de agua. Por lo que se da mayores cambios temperatura con respecto a la cantidad de energía. Mientras que el hemisferio sur tiene una fracción mayor de océano por lo que los cambios de temperatura no son tan marcados

como en el hemisferio Norte. Así mismo, en el hemisferio Norte las montañas actúan como barreras a eventos meteorológicos.

En Suramérica las intervenciones en la costa se deben principalmente a la erosión y la pérdida de playa, agravada por el desarrollo excesivo de la zona costera como en países como Brasil (Bird & Lewis, 2014). En estas áreas, la importancia socioeconómica de las playas, particularmente en las zonas turísticas, es un factor clave para la renovación de las playas (Bird & Lewis, 2014). Sin embargo, los métodos de intervención en las zonas costeras difieren mucho de un país desarrollado a subdesarrollado. En algunos países, como los Países Bajos y Alemania, la intervención tiene como objetivo evitar inundaciones y erosión. La intervención en estos países hace parte de la gestión costera proactiva o como medida correctiva. Los métodos incluyen el relleno directo de la playa superior, como en España, el reacondicionamiento de perfil completo, como en Estados Unidos, y esquemas de derivación, utilizados en Australia y Estados Unidos (Bird & Lewis, 2014).

5. Resultados y análisis de resultados

5.1. Caracterización hidrológica de los sistemas deltaicos

Para la selección de los sistemas deltaicos se utilizaron imágenes de Google Earth y de la base de datos de la organización Center for Open Science (OSF). Además de cumplir con la limitación del área de la cuenca, algunos de los sistemas se seleccionaron porque evidenciaban patrones evolutivos independiente de las estructuras antrópicas. Y otros porque no evidenciaban cambios morfológicos con o sin estructuras antrópicas. Los datos recopilados de la caracterización hidrológica de los sistemas se encuentran en la Tabla 1.

Tabla 1. Caracterización hidrológica de los sistemas deltaicos.

Sistema	País	Ciudad	A.D	A(km ²)	Q(m ³ /s)	L(km)	CN	Ti(m)	Hs(m)	Q _{river} ^p (m ³ /s)	Q _{river} ^d (m ³ /s)	Q _{tide} (m ³ /s)	Q _{wave} (m ³ /s)
Chira	Perú	La bocana	Marea con influencia del oleaje	16.800,00	60	95	1	0,80	2,00	0,300	0,300	0,006	1,000
Guayas	Ecuador	Guayaquil	Marea	34.500,00	600	93	5	1,00	0,80	1,000	0,900	1,000	0,000
Bio-bio	Chile	La boca	Oleaje con influencia de marea	24.000,00	500	380	1	0,80	2,00	0,200	0,200	0,005	1,000
Lingue o Mehuín	Chile	La barra	Oleaje	319,93	20	58	1	0,90	2,00	0,020	0,020	0,030	2,000
Jequitinhonha	Brasil	Belmonte	Oleaje con influencia de marea	63.900,00	300	1.090	2	1,00	1,00	0,200	0,200	0,007	0,600
Choro	Brasil	Barra Nova	Oleaje con influencia de marea	250,00	20	205	1	1,00	1,00	0,009	0,009	0,000	0,300
Ciénaga Honda	Colombia	Bocacerrada	Oleaje	182,00	20	20	1	0,30	1,00	0,007	0,007	0,000	0,500
Do Ribeira do Iguape	Brasil	Iguape	Oleaje	25.681,00	600	75	1	0,80	0,90	0,200	0,200	0,007	0,200
Demerara	Guyana	Georgetown	Oleaje	6.000,00	300	346	1	1,00	0,90	0,020	0,020	0,040	0,300
Ceara	Brasil	Fortaleza	Oleaje		9	60	1	1,00	1,00	0,002	0,004	0,002	0,400
Bahía de babitonga	Brasil	Balneário Barra do Sul	Oleaje	160,00	4	4	1	0,70	0,70	0,003	0,003	0,001	0,100
Santa María	Brasil	Vitoria	Oleaje	1.884,00	20	122	1	0,80	1,00	0,010	0,010	0,006	0,400
Santana	Brasil	Ilhéus	Oleaje	524,00	20	55	1	1,00	1,00	0,007	0,007	0,000	0,500

Nota. Se evidencian las variables como agente dominante (A.D) ,área (A), caudal (Q), longitud del canal (L), número de canales distributarios (CN), amplitud de marea (Ti), altura significativa de ola (Hs), flujo de sedimentos aportados por el río(Q_{river}^p), flujo de sedimentos aportados por el río sin modificaciones antropogénicas (Q_{river}^d), flujo de sedimentos aportados por la marea (Q_{tide}), y el flujo de sedimentos aportados por el oleaje (Q_{wave}).

5.2. Caracterización morfológica de los sistemas deltaicos

5.2.1 Chira (Perú)

La desembocadura del río Chira es un estuario ribereño con un conjunto de cordones litorales formados a partir de los depósitos fluviales proporcionados por el río, siendo el segundo con mayor caudal en la costa peruana (Varona, 2018). Este sistema provee de agua a la represa de Poechos, la cual regula el agua de riego de más de 108.000 hectáreas de los valles de Chira y Piura (Varona, 2018). La zona costera presenta una tendencia erosiva (-1,77 m/año) debido a la dinámica generada durante los eventos El Niño que proporcionan una gran cantidad de sedimentos, y la acción de las olas, las cuales transportan el sedimento hacia el sur (Ramírez, 2011).

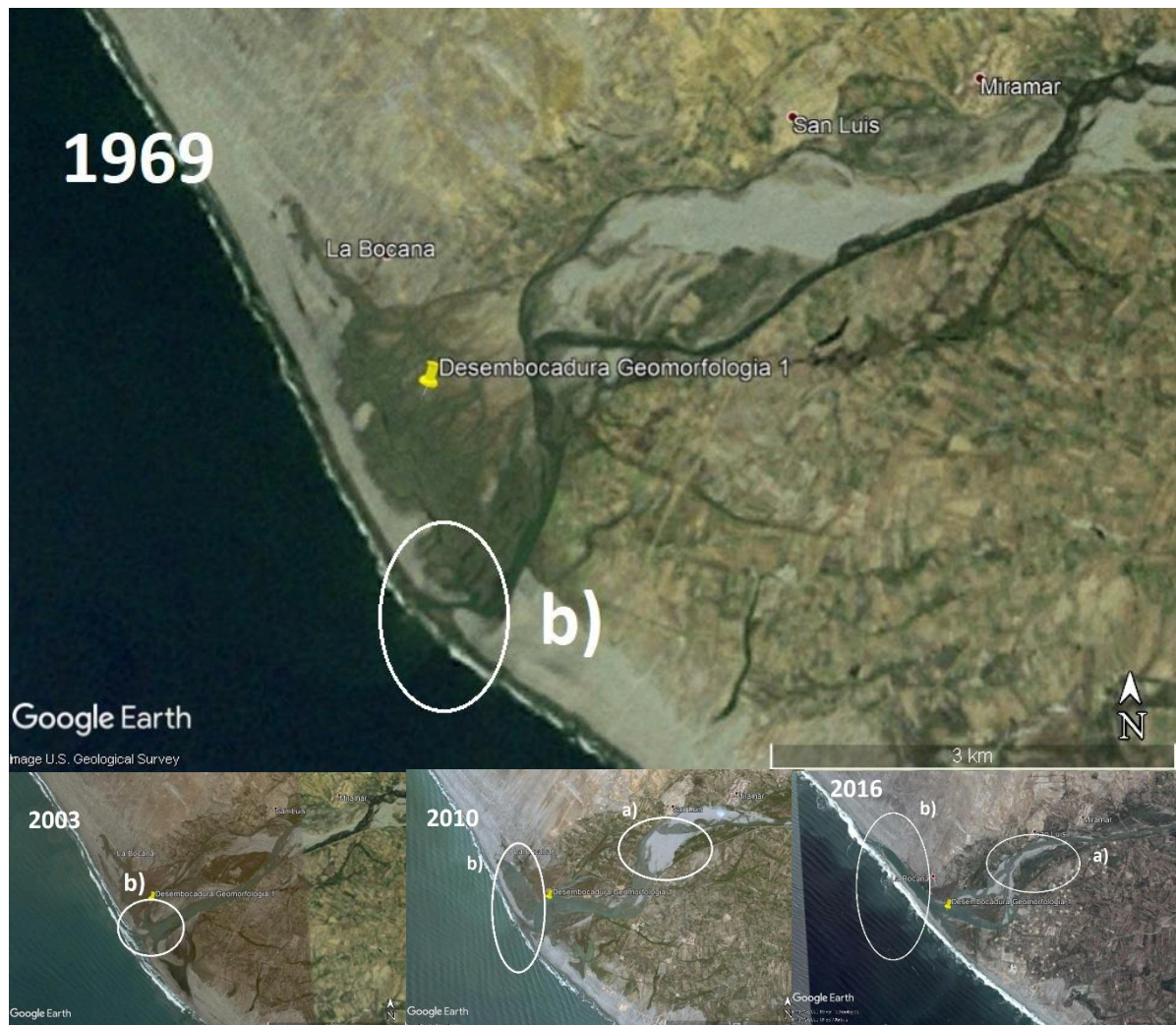


FIGURA 3. Evolución morfológica de la desembocadura del río Chira de 1969 a 2016.

Nota. El índice a) indica geoformas de islas fluviales y b) barras litorales.

Los sedimentos en esta zona son mixtos: granos finos y gruesos (Ramírez, 2011). Entre el periodo de 1969-2019, se observaron cambios en la dinámica de río asociados a patrones evolutivos (Figura 3), donde el canal principal varía de una desembocadura simétrica a deflectada en un periodo de 11 años (2007-2018). La variación del canal principal en la desembocadura y las geoformas se muestran en la Figura 3. La formación de barras longitudinales indica una dominancia de las mareas. Así mismo se evidencian bordes regulares a lo largo de toda la zona costera indicando la influencia del oleaje en el retrabajamiento de los sedimentos aportados por el sistema fluvial. El río Chira sigue un patrón sinuoso y se divide en dos brazos principales y otros secundarios. Así mismos, contiene un Pseudodelta con una planicie de 2km de área con materiales finos (Ramírez, 2011). El sistema no presenta estructuras de origen antrópico en la desembocadura.

5.2.2. Guayas (Ecuador)

El río Guayas presenta un canal distributivo principal en dirección N-S desde Guayaquil hasta la Isla Puná. En este tramo del sistema Guayas se evidencian estructuras naturales de levee (Acosta & Stalin, 2016). En la desembocadura se presentan cinco bifurcaciones del canal principal y dos direcciones de flujo de corriente (Figura 4). El sistema Guayas alberga el mayor centro de producción de bienes agropecuarios en Ecuador, con una variedad de actividades agrícola, ganadera, forestal, acuicultura, pesca, entre otros (Tapia, 2012). El sistema no presenta estructuras duras/rígidas en su desembocadura .

5.2.3 Bio-bio (Chile)

El área de drenaje de la cuenca del río Bio-bio corresponde a un valle fluvial, donde destacan las laderas graníticas y metamórficas, lagunas estuariales, un paleocanal, las flechas litorales y las terrazas aluviales (Peña, 1995). La red hídrica del sistema es irregular y drena una gran proporción del sector montañoso a causa de la lluvia invernal (Peña, 1995). Las terrazas aluviales del río se han formado a partir de los sedimentos transportados como de la erosión del sistema andino. Se

identifican dos niveles de terrazas que según Peña (1995), que se diferencian por sus características sedimentológicas, su extensión y su altitud.

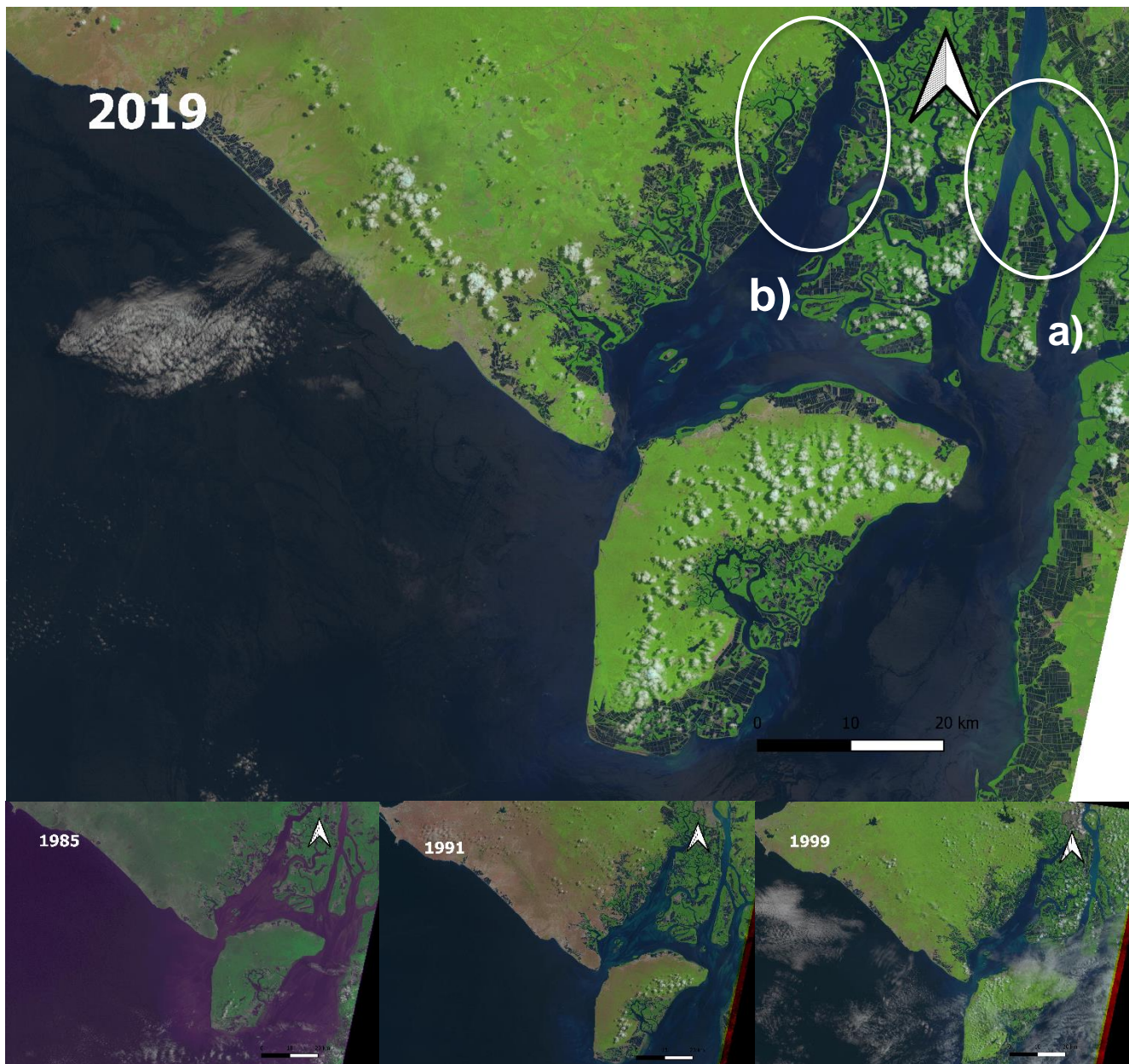


FIGURA 4. Evolución morfológica de la desembocadura del río Guayas de 1985 a 2019.

Nota. EL índice a) indica los canales distributarios y b) la forma de trompeta de los canales de distributarios.

La desembocadura del río Bio-bio es de tipo deflectada, con alto aporte sedimentario de carácter fluvial, lo cual puede apreciarse en las islas fluviales que se forman en el canal del río (Figura5). Estos aportes ocasionan una acumulación de material sedimentario que estrecha el canal en el

punto de deflexión. Se presenta una variabilidad de la forma de la flecha litoral, y una incidencia del oleaje representado en la regularidad de la línea costera. La zona de laderas abarca gran parte de la actividad realizada en la Cantera de Lonco, donde la superficie removida alcanza 225.000m² (Peña, 1995). El sistema no presenta estructuras de intervención costera.

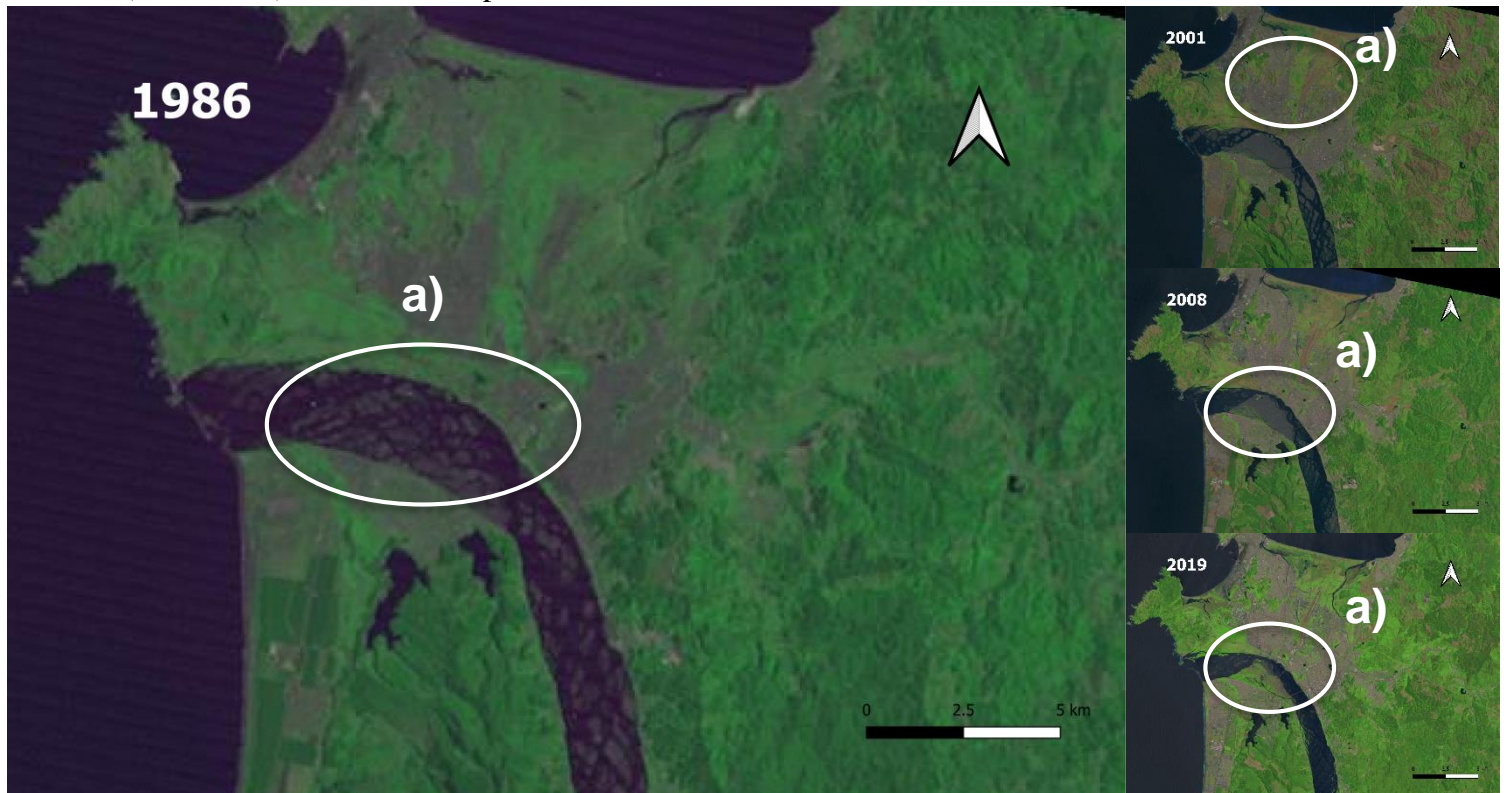


FIGURA 5. Evolución morfológica de la desembocadura del río Bio-bio de 1979 a 2019.

Nota. EL índice a) indica la acumulación de los sedimentos en la deflexión del canal.

5.2.4. Lingue o Mehuín (Chile)

El río Lingue o Mehuín desemboca al sur de la Bahía de Maiquillahue. El estuario tiene una longitud aproximada de 5 kilómetros y un ancho que fluctúa entre 75 y 250 metros (Bertrán 1989). El sistema deltaico presenta una dinámica de acreción y erosión variable a lo largo de la costa en la zona de la desembocadura (Figura 6). Se reconocen unidades geomorfológicas como flecha Litoral y levee natural. Carrasco (2014) plantea que la cuenca del río Lingue es de régimen pluvial, las que por su morfología y pendientes en su porción inferior reciben aportes de caudal provenientes del mar originando ambientes de tipo estuarino. En el curso del río hasta la

desembocadura se evidencian zonas de inundación y barras litorales, variando su canal de simétrico a asimétrico a medida que avanza a su desembocadura (figura 6). La costa presenta bordes regulares indicando la influencia del oleaje con una incidencia importante en las direcciones W, SW y NW. El valle del río es utilizado para la actividad turística; el río es navegable en su curso inferior hasta el pueblo-balneario de Mehuín Carrasco (2014). El sistema no presenta estructuras antrópicas en la costa.

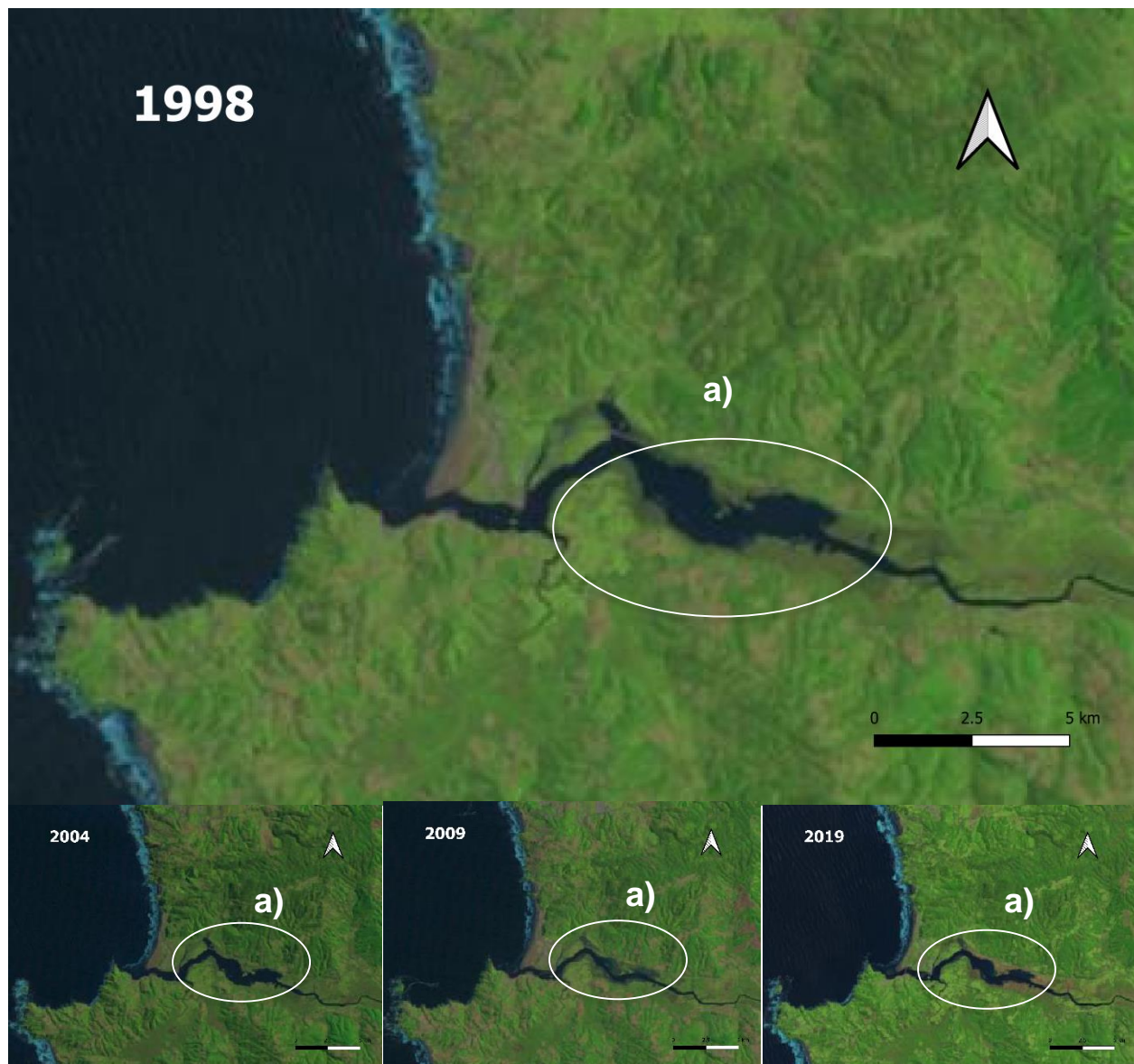


FIGURA 6. Evolución morfológica de la desembocadura del río Lingue de 1998 a 2019.
Nota. El índice a) indica la acumulación de los sedimentos en la deflexión del canal.

5.2.5. Bahía de Babitonga (Brasil)

La bahía de Babitonga se encuentra conectada al océano Atlántico a través de un canal de 1.7 km de ancho y profundidades desde 6m hasta 28 m. Dentro de las estructuras geomorfológicas del sistema se encuentran planos de mareas, levee natural, costas rocosas y playas de arena con alto contenido en lodo (Cremer & Simões-Lopes, 2008). El canal se encuentra deflectado y presenta meandros en su sección terminal y barras fluviales en su estructura interna (Figura 7).



FIGURA 7. Evolución morfológica de la Bahía de Babitonga de 1973 a 2020.

Se observan estructuras de tajamares en la boca de la desembocadura del río Cubatão, probablemente para aliviar los problemas de inundaciones causados por la variación de los niveles de marea (Figura 8). No se observan estructuras como espolones que refuercen la acreción de sedimentos en la costa. La bahía recibe una gran cantidad de contaminantes de la ciudad de Joinville a través de la laguna Saguacú y el río Cubatão (Cremer & Simões-Lopes, 2008).



FIGURA 8. Evolución de la desembocadura la Bahía de Babitonga.
Nota. El índice a) indica el sistema de tajamares en la boca de la Bahía de Babitonga.

5.2.6. Do Ribeira do Iguape (Brasil)

El sistema Do Ribeira do Iguape se encuentra ubicada en una depresión tectónica, específicamente en una llanura costera arenosa. Está constituida por dos sistemas de canales: Valo Grande y el río Ribeira de Iguape, entre la isla de Iguape y el continente (Bérgamo, 2000). Los canales presentan meandros en la sección terminal y desembocan en el mar de forma deflectada. El sistema deltaico

se encuentra limitada en la costa por barras de arenas formadas a partir de los sedimentos transportados por cada uno de los canales. Desde 1988 hasta la fecha se observa el proceso de formación de la barra de arena en la zona Nor-oriental de la desembocadura (Figura 9). La costa muestra estructuras regulares indicando la influencia del oleaje en el retrabajamiento de los sedimentos. Bérghamo (2000) sostiene que el río Ribeira de Iguape es responsable de la principal fuente de agua dulce en el sistema, a través de un canal artificial.



FIGURA 9. Evolución morfológica del sistema Do Ribeira do Iguape de 1988 a 2019.
Nota. EL índice a) indica la ubicación del canal artificial Valo Grande y b) la evolución de la barra litoral.

5.2.7. Santa María (Brasil)

El río Santa María desemboca en un sistema de estuarios tropicales de la Bahía de Vitória. El sistema tiene dos canales de comunicación con el mar: Canal da Passagem y Canal do Porto (Veronez, 2009). Se reconocen tres unidades geomorfológicas en el sistema: macizos, mesetas y llanuras costeras. Los macizos rocosos forman ensenadas al largo de la bahía protegiéndola de la acción del oleaje. Veronez (2009) sostiene que se observaron áreas de manglares en la Bahía de Vitória que inciden en el aumento de la velocidad de las corrientes en la bahía. No se observan cambios distintivos de las geoformas en el sistema (Figura 10).



FIGURA 10. Evolución morfológica del sistema Santa María de 1976 a 2020.

El sistema fluvial presenta dos represas en su curso medio. A lo largo de la zona interna de la bahía se observan sistemas de espolones que reflejan la actividad erosiva en el área (Figura 11). Además, estudios sedimentológicos en el área sugieren que la materia orgánica encontrada en la bahía es

producto de la eutrofización debido a la alta urbanización, la descarga de aguas residuales domésticas y basura (Veronez, 2009).



FIGURA 11. Bahía de Vitória en el 2020.

Nota. EL índice a) indica los espolones y b) los dos canales de comunicación con el mar.

5.2.8. Jequitinhonha (Brasil)

El sistema del río Jequitinhonha está constituido por un canal asimétrico que desemboca en el océano Atlántico. El canal presenta meandros en el transcurso a su desembocadura. En la sección terminal el río presenta dos bifurcaciones en forma de trompa que se ensanchan con dirección al

mar, indicando la influencia de las mareas. Así mismo, la disposición de los sedimentos en la desembocadura es variable (Figura 12). La costa muestra estructuras regulares indicando la influencia del oleaje en el retrabajamiento de los sedimentos.

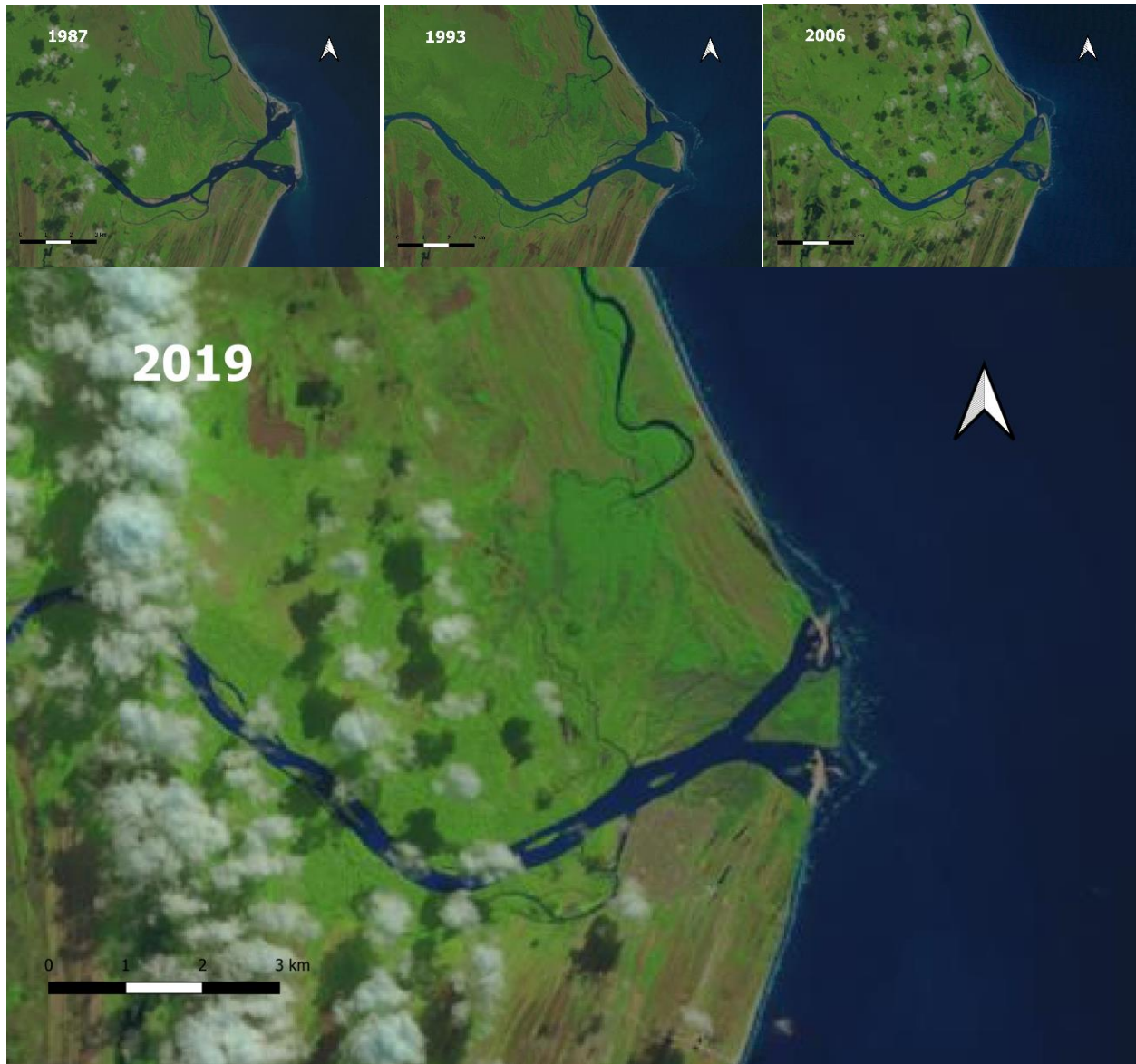


FIGURA 12. Evolución morfológica del sistema Jequitinhonha de 1987 a 2019.

5.2.9. Santana (Brasil)

El sistema Santana se encuentra delimitado por dos unidades geológicas, Serra das Araras, un batolito; y Río Negro, compuesto por migmatitas y gneis. El canal principal presenta sistemas de meandros en su sección terminal con una geometría deflectada en la desembocadura (Figura 13).

El delta se encuentra protegido por el oleaje en la costa por un sistema rocoso, sin embargo, se observan estructuras regulares indicando la influencia del oleaje en el retrabajamiento de los sedimentos (Figura 13).

FIGURA 13. Evolución morfológica del sistema Santana de 1987 a 2020.



Nota. EL índice a) indica la presencia de un aeropuerto en la costa.

El valle del río Santana tiene un espesor de sedimentos cuaternarios de 15 m. El material presente es explotado económicamente mediante el uso de arena y arcillas en obras de construcción (Madeira & Borghi, 1999). Las intervenciones realizadas en la zona están relacionadas con la rectificación de canales desde la década de 1940 (Madeira & Borghi, 1999). Como consecuencia

de las intervenciones el sistema fluvial desarrolló un canal poco profundo y una amplia llanura de inundación, sin embargo, el río generó una intensa eliminación del material del fondo, profundizando su canal y encontrando el equilibrio (Madeira & Borghi, 1999)

5.2.10. Choro (Brasil)

El sistema Choro presenta un canal principal con sistemas de meandros que se pierden a medida que avanza a la costa, desembocando con una geometría deflectada. El sistema se encuentra dominado por el oleaje con influencia de las mareas. Se presenta una variación en la forma deposicional de los sedimentos en la boca de la desembocadura, sin embargo, no hay una variabilidad importante de las geoformas en la cuenca (Figura 14). El sistema se encuentra mayormente influenciado por actividades de cultivos. No presenta estructuras de intervención en el cauce del canal y la zona costera.

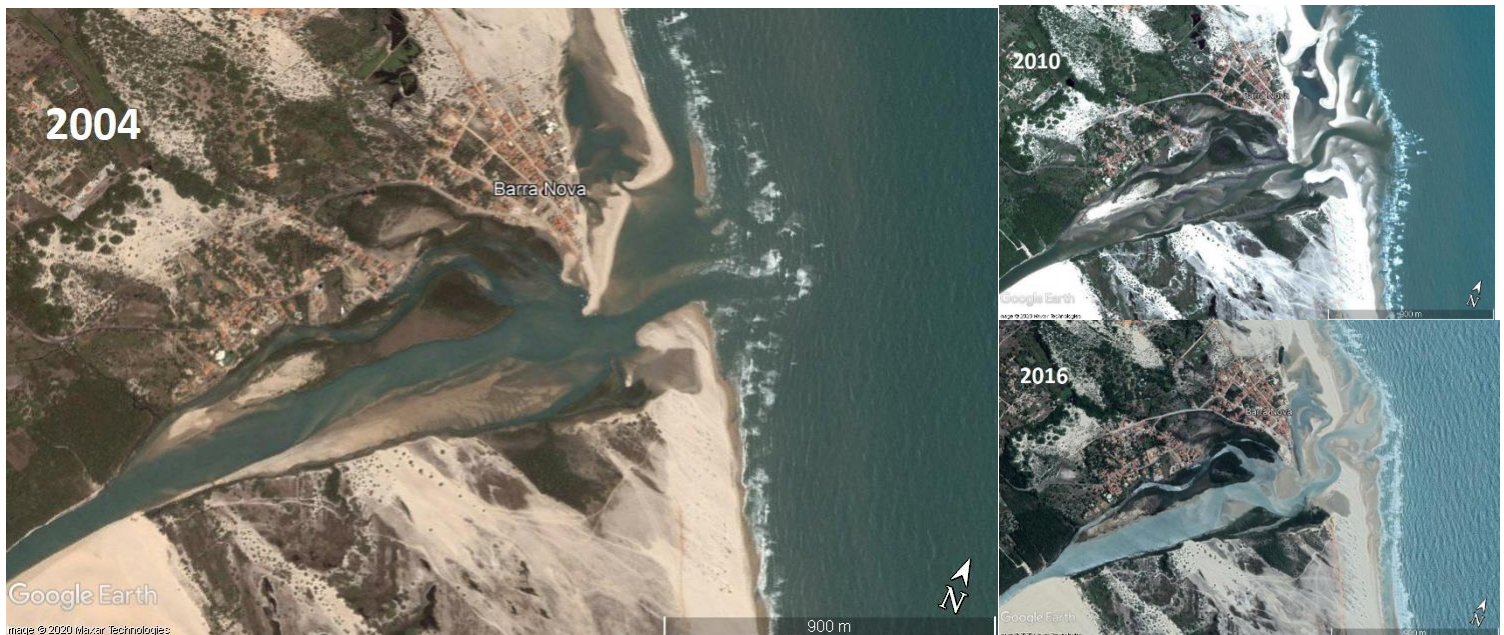


FIGURA 14. Evolución morfológica de la desembocadura del sistema Choro de 2004 a 2016.

5.2.11. Demerara (Guyana)

El sistema Demerara presenta un canal principal que desemboca con una geometría simétrica (Figura 15). Se observan sistemas de meandros que se pierden a medida que avanza a la costa. El

sistema se encuentra influenciado por el oleaje, evidenciado en las formas regulares en la línea costera. No se presenta una variación en la forma deposicional de los sedimentos (Figura 15). El sistema se encuentra mayormente influenciado por actividades de cultivos y asentamientos humanos en gran medida. Presenta estructuras de espolones en la costa debido a procesos erosivos que se presentan (Figura 16).



FIGURA 15. Evolución morfológica del sistema Demerara del 2001 al 2015.



FIGURA 16. Espolones en la costa de la desembocadura del río Demerara.

5.2.12. Ceara (Brasil)

El sistema Ceara contiene un canal principal con sistemas de meandros y una geometría deflectada en su conexión a la costa. El delta se encuentra influenciado por oleaje en la costa, donde se observa la simetría de la línea de costa. Se encuentra altamente intervenido con estructuras para la acumulación de sedimentos en la zona costera debido a procesos de erosión (Figura 17). Así mismo, se observa una importante densidad poblacional en la zona de la desembocadura. El sistema es muy pequeño comparado a otros ríos que desembocan en la zona costera.

5.2.13. Ciénaga Honda (Colombia)

El sistema Ciénaga Honda es una laguna formada a partir de un canal natural modificado entrópicamente, Canal de Dique, que desemboca en el mar Caribe. El canal principal presenta sistemas de meandros y desemboca de manera simétrica en la costa. En la zona costera se evidencia la evolución de una laguna costera (Figura 18). No se presentan intervenciones en el canal y la costa. Se observa la influencia del oleaje en la distribución de sedimentos y la influencia de la deriva litoral

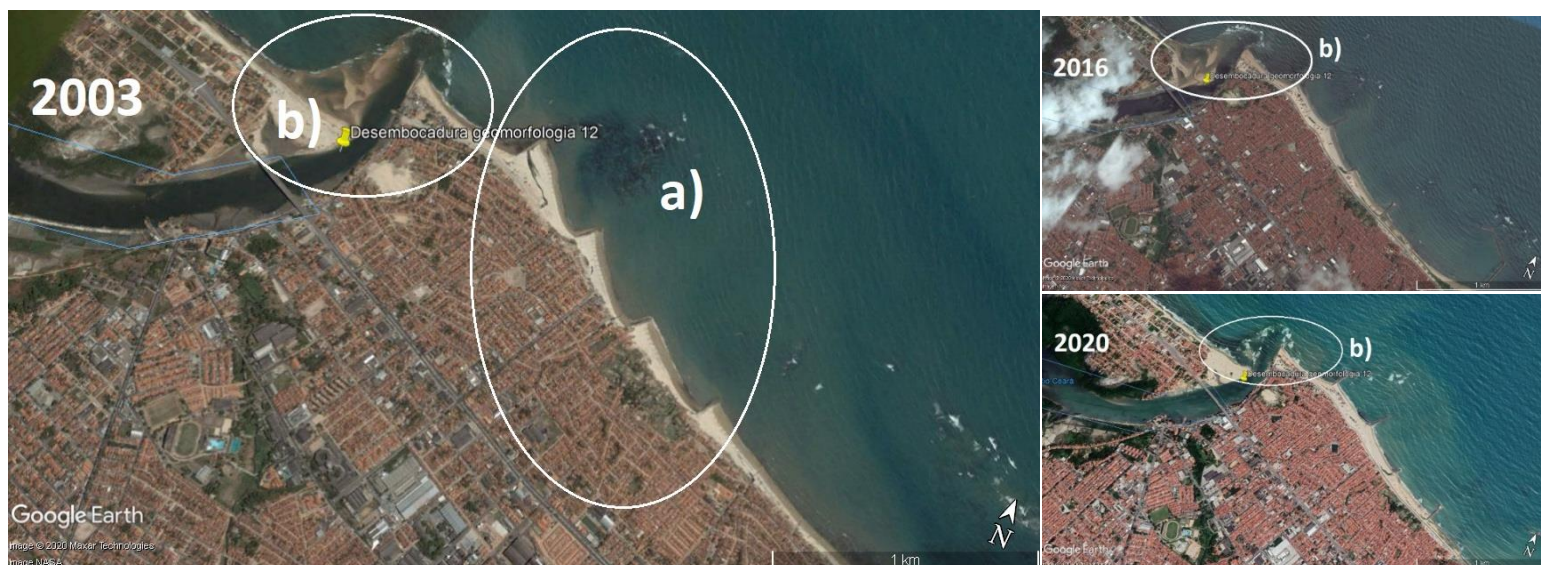


FIGURA 17. . Evolución de la desembocadura del río Ceará.
Nota. EL índice a) indica el sistema de espolones y b) los cambios en la desembocadura.



FIGURA 18. Evolución morfológica del sistema Bahía Honda de 1973 a 2019.
Nota. EL índice a) indica la evolución de la laguna costera.

5.3. Calificación cualitativa del grado de intervención en los sistemas deltaicos

A partir de la caracterización de los deltas se observó una variabilidad en los agentes que controlan la morfología de los ríos. Se evidenciaron sistemas sin intervenciones o con un tipo de intervención, espolones o canales artificiales, que mostraban patrones de evolución en la formación natural de geoformas como barras litorales, islas fluviales, y lagunas costeras. Así mismo, se observaron sistemas con al menos dos intervenciones en donde se observó la interrupción en la evolución natural del sistema.

Las desembocaduras se clasificaron en sistemas no intervenidos, poco intervenidos y altamente intervenidos dependiendo de las características que presente el sistema como se indica en la Tabla 2. Así mismo, se les otorgó una calificación numérica de 1 a 5 indicando la evolución y equilibrio del sistema (Tabla 2), donde 1 es el sistema prístino dependiendo de la clasificación y 5 el sistema más alterado. La calificación evaluará el estado de la cuenca dependiendo de las observaciones e intervenciones que se presenten en cada sistema deltaico. Los parámetros utilizados para la clasificación de cada tipo de intervención se encuentran en la tabla 2. En la tabla 3 se muestra la clasificación de cada sistema deltaico y su respectiva calificación.

Tabla 2. Sistema de calificación de sistemas deltaicos.

Clasificación	Criterio de clasificación	Evaluación	Calificación	Valoración del sistema
Sistemas no intervenidos	Se evidencian ciclos evolutivos. Sin intervenciones que controlan el cauce del canal o la morfología de la costa. No hay espolones, tajamares o canales artificiales.	Siempre se presentan cambios muy importantes en la evolución del sistema	1	Cuenca conservada que muestra un patrón de evolución como la establecida por Galloway a pesar de tener asentamientos humanos y el desarrollo de actividades económicas en el sector
		Casi siempre se presentan cambios muy importantes en la evolución del sistema	2	
		Medianamente se presentan cambios muy importantes en la evolución del sistema	3	
		Pocas veces se presentan cambios muy importantes en la evolución del sistema	4	La cuenca no presenta intervenciones, sin embargo, la actividad que se desarrolla en el sector, como cultivos y agronomía, influyen en la evolución natural del sistema.
		Nunca se presentan cambios muy importantes en la evolución del sistema	5	
Sistemas poco intervenidos	Se evidencian ciclos evolutivos. Sin embargo, existen intervenciones que controlan el cauce del canal o la morfología de la costa. Se presentan espolones y canales artificiales. No se presentan tajamares.	Se presentan intervenciones, pero siempre se evidencian cambios muy importantes en la evolución del sistema	1	La cuenca presenta intervenciones. Sin embargo, no controlan en su totalidad la evolución del sistema. No controla la disposición de los sedimentos.
		Se presentan intervenciones, pero casi siempre se evidencian cambios muy importantes en la evolución del sistema	2	
		Se presentan intervenciones, pero medianamente se evidencian cambios muy importantes en la evolución del sistema	3	

		del sistema		
		Se presentan intervenciones, pero pocas veces se evidencian cambios muy importantes en la evolución del sistema	4	La cuenca presenta intervenciones que influyen que la evolución del sistema. Las intervenciones regulan la depositación de los sedimentos.
		Se presentan intervenciones, pero nunca se evidencian cambios muy importantes en la evolución del sistema	5	
Sistemas altamente intervenidos	No se evidencian ciclos evolutivos. Se presentan intervenciones que controlan el cauce del canal y la morfología de la costa. Se presentan espolones, canales artificiales y tajamares.	Se presentan intervenciones, y escasamente se evidencian cambios en la evolución del sistema	1	La cuenca presenta intervenciones que determinan casi en su totalidad la dinámica del sistema.
		Se presentan intervenciones, y pocas veces se evidencian cambios en la evolución del sistema	2	
		Se presentan intervenciones, y algunas veces se evidencian cambios en la evolución del sistema	3	
		Se presentan intervenciones, y casi nunca se evidencian cambios en la evolución del sistema	4	La cuenca presenta intervenciones que controlan totalmente la dinámica del sistema. No permite la formación de estructuras naturales como islas barreras, dunas, etc.
		Se presentan intervenciones, y nunca se evidencian cambios en la evolución del sistema	5	

Tabla 3. Calificación cuantitativa de los sistemas deltaicos.

Clasificación	Sistema	Calificación
No intervenidos	Chira	1
	Guayas	2
	Bio-bio	5
	Lingue o Mehuín	3
	Jequitinhonha	4
	Choro	3
	Cienaga Honda	2
Poco intervenidos	Do Ribeira do Iguape	1
	Demerara	5
	Ceara	3
Altamente intervenidos	Bahia de babitonga	5
	Santa Maria	3
	Santana	1

6. Discusiones

Los resultados obtenidos a partir de la clasificación de los sistemas deltaicos menores en Suramérica indican que al menos el 50% de los sistemas estudiados en este trabajo no se encuentran intervenidos, recalcando que los tipos de intervención considerados son la presencia de estructuras como espolones, tajamares y canales artificiales. La mayoría de las intervenciones está relacionada con el control del cauce del río y la disposición de los sedimentos en la desembocadura, con el objetivo de prevenir inundaciones y sustentar actividades que se desarrollan en el sector aledaño, relacionado principalmente a los cultivos, agronomía y ganadería. El control del cauce del río a través de canales artificiales disminuye tanto el caudal como el aporte de sedimentos en la desembocadura. Este proceso se evidencia en la ausencia de geoformas naturales y el aumento de la erosión en la zona costera. Las estructuras de espolones generan la concentración de sedimentos en un lado y la erosión en la zona opuesta. Los tajamares ocasionan la acumulación de sedimentos en el canal próximo a la desembocadura.

La proyección en diagramas de dispersión de los datos obtenidos en la caracterización hidrológica de los sistemas se observa en las Figuras 19, 20 y 21. En la figura 19 se evidencia una agrupación

hacia el eje Y de los datos proyectados para los sistemas altamente intervenidos. Así mismo, los sistemas no intervenidos y poco intervenidos muestran una alta dispersión de los datos. En la figura 20 y 21 se evidencian los mismos resultados obtenidos en la Figura 19.

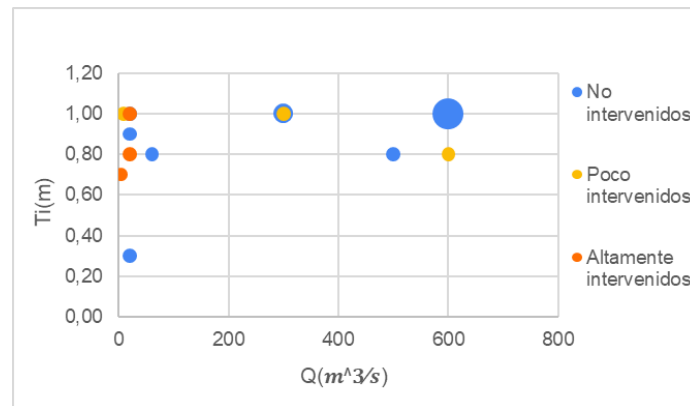


FIGURA 19. Diagrama de dispersión de los datos de caudal, amplitud de marea y número de canales distributarios.
Nota. El tamaño de los círculos indica el número de canales distributarios, donde 5 es el mayor número de canales.

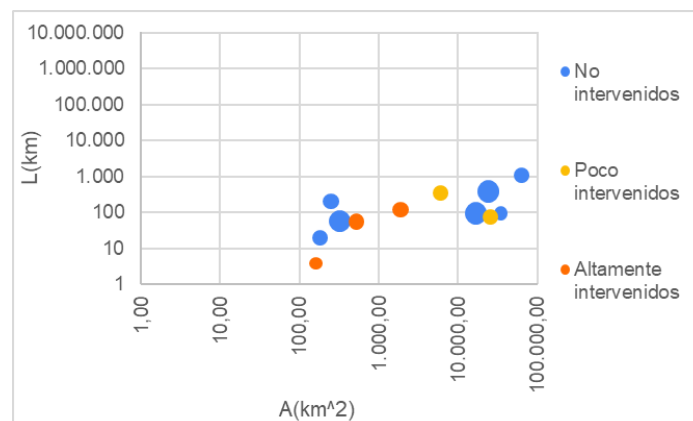


FIGURA 20. Diagrama de dispersión de los valores de área, longitud del canal y altura de la significativa.
Nota. La proyección de los ejes esta en escala logarítmica. El tamaño de los círculos indica la magnitud de la altura significativa de ola.

La dispersión de los datos en los sistemas no intervenidos y poco intervenidos indican la variabilidad natural de los sistemas deltaicos. La uniformidad de los datos presente solo en los sistemas altamente intervenidos podría estar relacionado a la susceptibilidad de los deltas menores frente a la implementación de más de un tipo de estructura antrópica. Este tipo de estructuras controlan las características hidrológicas de los deltas y limitan su variabilidad natural.

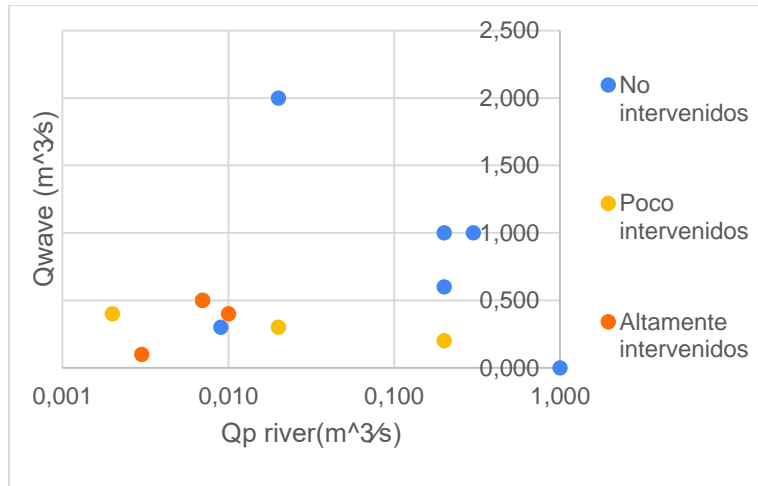


FIGURA 21. Diagrama de dispersión de los valores de flujo de sedimentos aportados por el río(Q_{river}^p) vs el flujo de sedimentos aportados por el oleaje (Q_{Wave}) .

Nota. La proyección de los ejes esta en escala logarítmica.

Las acciones de uso, manejo e intervención de zonas costeras han incrementado significativamente la influencia en los sistemas deltaicos. De esta manera, el sistema de clasificación establecido por Galloway (Fig. 1) no es acorde para clasificación de sistemas menores intervenidos, dado que no se observa la evolución geomorfológica del sistema. Las intervenciones en los sistemas interrumpen la formación de sistemas de protección como islas barreras, cordones litorales, o dunas. Este factor incrementa la exposición del sistema frente a fenómenos meteorológicos como tormentas, huracanes, tsunamis o altos niveles de mareas. A medida que los tipos de intervención aumentan, el grado de exposición de la desembocadura frente a fenómenos meteorológicos aumenta.

La caracterización morfológica y la evaluación de los deltas, a través de la Tabla 2, evidenció que incremento de intervenciones reduce los cambios evolutivos y morfológicos en el sistema. Esto sugiere que las cuencas reflejan patrones morfológicos relacionado a las intervenciones antrópicas permitiendo valorar el estado de la cuenca.

Las respuestas de los sistemas deltaicos en países en vía de desarrollo difieren de manera significativas de aquellas que se han documentado en el hemisferio norte por Syvitski y Saito

(2007). La mayoría de los deltas en el hemisferio norte han reducido su tamaño, debido a la variabilidad en la descarga de agua y sedimentos del río, se alejan de su equilibrio histórico por variación el suministro de sedimentos y la dispersión de sedimentos, y han disminuido el número de canales distributivos a menudo compensados por canales artificiales. Las respuestas de las intervenciones en los deltas menores en Suramérica se encuentran particularmente evidenciadas en el desequilibrio del sistema. Este proceso impide la formación de geoformas a causa de cambios importantes en el suministro y dispersión de sedimentos. Sin embargo, las características como el número de canales distributarios no presenta variaciones debido a que solo se presenta un canal principal. Así mismo, no se observan una reducción del tamaño de la desembocadura probablemente por los escasos estudios en este tipo de sistemas.

7. Conclusiones

La morfología de los 13 sistemas deltaicos menores de Suramérica, estudiados en este trabajo, se caracteriza principalmente por la presencia de conjuntos de playas, espigas litorales, islas fluviales, y lagunas costeras. Las geoformas indican que la evolución de estos sistemas ha sido controlada principalmente por factores relacionados con el oleaje y corrientes asociadas.

Los sistemas deltaicos Chira, Lingue, Babitonga, Jequitinhonha, Guayas, Bio-bio, y Ciénaga Honda no presentan intervenciones de estructuras de espolones, canales artificiales y tajamares. Las intervenciones están orientadas a la prevención de inundaciones, erosión, y al sustento de las actividades agrícolas.

Las características morfológicas e hidrológicas de los deltas escogidos permitieron la elaboración de un sistema de clasificación que permite evaluar el estado de la cuenca dependiendo de las observaciones e intervenciones que se presenten en cada sistema deltaico.

Los sistemas no intervenidos y poco intervenidos muestran patrones de evolución en la formación

natural de geoformas y una variabilidad en las propiedades físicas de los sistemas.

Los sistemas altamente intervenidos, Bahía de Babitonga, Santa María y Santana, experimentan la interrupción en la evolución natural del sistema y la limitación de las propiedades hidrológicas del sistema evidenciado a través de diagramas de dispersión.

Las acciones de uso, manejo e intervención de zonas costeras han incrementado significativamente la influencia en los sistemas deltaicos. El sistema de clasificación establecido por Galloway (Fig. 1) no es acorde para clasificación de sistemas menores intervenidos, dado que no se observa la evolución geomorfológica del sistema a causa de las intervenciones. Así mismo, las intervenciones interrumpen la formación de sistemas de protección naturales incrementando la exposición frente a fenómenos meteorológicos.

Las respuestas de los sistemas deltaicos en países en vía de desarrollo difieren de manera significativas de aquellas que se han documentado en el hemisferio norte. La respuesta de las intervenciones en los deltas menores de Suramérica, estudiados en este trabajo, está relacionada con el desequilibrio del sistema, es decir, a cambios importantes en el suministro y dispersión de sedimentos. Las intervenciones no afectan el número de canales distributarios y la reducción del área de la desembocadura.

Para continuar con la línea de estudio se recomienda incluir más sistemas deltaicos menores que permitan comprender en una mejor escala el impacto de las intervenciones antrópicas. Así mismo, se sugiere incorporar la caracterización del perfil de la desembocadura y los cambios asociados a la implementación de estructuras antrópicas.

8. Referencias

Acosta, B., & Stalin, B. (2016). Morfología y Sedimentos de la Plataforma Continental del Golfo de Guayaquil (Bachelor's thesis, Espol).

Bérgamo, A. L. (2000). Características da hidrografia, circulação e transporte de sal: Barra de Cananéia, Sul do mar de Cananéia e Baía do Trapandé (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).

Bertrán, C. (1989). Zonación y dinámica temporal de la macroinfauna intermareal en el estuario del río Lingue (Valdivia, Chile). *revista chilena de historia natural*, 62, 19-32.

Bird, E. C. (2011). *Coastal geomorphology: an introduction*. John Wiley & Sons.

Bird, E., & Lewis, N. (2014). *Beach renourishment*. Springer.

Carrasco, S., Hauenstein, E., Peña-Cortés, F., Bertrán, C., Tapia, J., & Vargas-Chacoff, L. (2014). Evaluación de la calidad de vegetación ribereña en dos cuencas costeras del sur de Chile mediante la aplicación del índice QBR, como base para su planificación y gestión territorial. *Gayana. Botánica*, 71(1), 1-9.

Correggiari, A., Cattaneo, A., Trincardi, F., 2005. Depositional patterns in the late Holocene Po Delta system. In: Giosan, L., Bhattacharya, J.P. (Eds.), *River Deltas —Concepts, Models, and Examples*. SEPM Special Publication, vol. 83, pp. 13–30.

Cremer, M. J., & Simões-Lopes, P. C. (2008). Distribution, abundance and density estimates of franciscanas, *Pontoporia blainvillei* (Cetacea: Pontoporiidae), in Babitonga bay, southern Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 25(3), 397-402.

Dalrymple, R.W., Zaitlin, B.A., Boyd, R., 1992. Estuarine facies models: conceptual basis and stratigraphic implications. *Journal of Sedimentary Petrology* 62, 1130–1146.

Galloway, W. E. (1975). Process framework for describing the morphologic and stratigraphic evolution of deltaic depositional systems.

GEORED. (s.f). Servicio geológico colombiano. Bogotá, Colombia: sgc. Recuperado de <https://geored2.sgc.gov.co/geologia/Paginas/Suramerica.aspx>.

Huggett, R. (2017). Fundamentals of geomorphology. Routledge.

Madeira, C. V., & Borghi, L. (1999). Estrutura dos depósitos sedimentares quaternários da bacia hidrográfica do rio Santana, Miguel Pereira, Estado do Rio de Janeiro. Anuário do Instituto de Geociências, 22, 8-22.

Nienhuis, J. H., Ashton, A. D., Edmonds, D. A., Hoitink, A. J. F., Kettner, A. J., Rowland, J. C., & Törnqvist, T. E. (2020). Global-scale human impact on delta morphology has led to net land area gain. *Nature*, 577(7791), 514-518.

Orton, G.J., Reading, H.G., 1993. Variability of deltaic processes in terms of sediment supply, with particular emphasis on grain size. *Sedimentology* 40, 475–512.

Peña Cortés, F. A. (1995). Geomorfología de la ribera norte del río Bío-Bío en su curso inferior: limitaciones y potencialidades del área.

Postma, G. (1990). Depositional architecture and facies of river and fan deltas: a synthesis. In *Coarse-grained deltas* (Vol. 10, pp. 13-27). Blackwell Oxford.

Ramírez, G. A. R. (2011). Análisis de la variación temporal de la línea de costa y caracterización de la geomorfología litoral: bahía de Paita, Perú 1946-2007. *Espacio y Desarrollo*, (23), 93-114.

Syvitski, J. P., & Saito, Y. (2007). Morphodynamics of deltas under the influence of humans. *Global and Planetary Change*, 57(3-4), 261-282.

Veronez Júnior, P., Bastos, A. C., & Quaresma, V. D. S. (2009). Morfologia e distribuição sedimentar em um sistema estuarino tropical: Baía de Vitória, ES. *Revista Brasileira de Geofísica*, 27(4), 609-624.